



# Etude Thermique D'un Distillateur Solaire Couple A Un Condenseur Fonctionnant En Convection Naturelle

H. Moungar<sup>#1</sup>, M. Benhammou<sup>#</sup>, A. Azzi<sup>\*</sup>

<sup>#</sup> Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien B.P. 478, Route  
de Reggane Adrar. Algérie Tél : 213 049 96 51 68

<sup>\*</sup>Département de Génie Mécanique de l'Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM

<sup>1</sup> Email: houcinemgn@gmail.com

**Abstract**— Solar distillation constitutes one of the processes, which will supply the potable water to villages and the small cities, with limited consumption. Nevertheless the efficiency of this process remains extremely limited.

The purpose of the present work consists to coupling a solar still with a separated condenser. A solar still which allows to have a production higher than that of a plane distiller and whose thermal losses are less low is used.

In this study the heat balance of the system are established. Then the temperatures on the level of each part of the system are calculated. The system of equations governing the operation of this system is solved in MATLAB with the RUNGE-KUTTA-FEHLBERG, iterative method's. The influence of many parameters in particular the irradiation, the ambient temperature, the speed of the wind, the temperature of water, and the water depth, on the operating characteristic will be also presented.

**Keywords**— solar still, collector, production, efficiency

## I. INTRODUCTION

L'eau douce ne représente que 2,5 % du volume total d'eau sur la planète. Elle est très inégalement distribuée. Les précipitations sont très variables. La sécheresse peut durer des mois, c'est le cas des pays du Maghreb, du Golf et de l'Asie Centrale. Les besoins en eau potable dans ces pays augmentent d'une manière continue et inversement proportionnelle aux ressources d'eau douce, les réserves souterraines se trouvent constamment diminuées. Une grande partie des réserves d'eau est constituée d'eau saumâtre. Le dessalement de ces eaux par des unités classiques de traitement nécessite beaucoup d'énergie électrique et/ou calorifique.

Les pays arides bénéficient généralement d'un grand potentiel d'énergie solaire (gratuit, propre et disponible en permanence et renouvelable par excellence) dont l'exploitation peut fournir une solution durable à l'approvisionnement en eau douce. La distillation solaire à effet de serre est l'une des applications utilisant la conversion thermique solaire à basse température pour le dessalement des eaux saumâtres qui peut répondre à l'approvisionnement en eau potable, à l'échelle de

famille ou même d'une petite localité. Cette application nécessite :

✓ L'effet de serre lié essentiellement aux propriétés optiques des vitres et/ou des matières plastiques qui sont parfaitement transparentes au rayonnement solaire visible, et opaques au rayonnement infrarouge.

✓ Source d'énergie (le soleil), en transformant l'énergie solaire reçue sous forme de rayonnements en énergie thermique par l'intermédiaire des installations solaires.

En effet, les projets de distillation solaire ont fait leur preuve dans plusieurs endroits du monde. La distillation solaire est une technologie historique. L'utilisation moderne de la distillation solaire de l'eau salée ou saumâtre a commencé en 1872, dans le nord du Chili par l'installation d'un distillateur solaire de types bassin, qui a permis de satisfaire les besoins de la communauté pendant plusieurs années. Depuis 1954, les expériences se sont multipliées, des procédés thermiques sont mis au point et utilisés pour dessaler l'eau de mer et l'eau saumâtre. Par ailleurs, plusieurs projets de recherche sur les procédés de dessalement sont développés.

## II. BILAN THERMIQUE DU DISTILATEUR

### A. Bilan au niveau de la vitre externe

$$\frac{1}{2} m_v c_{pv} \frac{dT_{ve}}{dt} = \left[ \frac{1}{2} G \alpha_v + \left( \frac{A_v}{\sigma_v} \right) (T_{vi} - T_{ve}) + h_{v-s}^{ns-sk} (T_{ve} - T_{sb}) - h_{v-a} (T_{ve} - T_{ab}) \right] A_v$$

### B. Bilan au niveau de la vitre interne

$$\frac{1}{2} m_v c_{pv} \frac{dT_{vi}}{dt} = h_{v-s} (T_s - T_{vi}) A_s + \frac{1}{2} G \alpha_v A_v + h_{c-s} (T_s - T_{vi}) A_v + Q_{cond1} - \left( \frac{A_v}{\sigma_v} \right) (T_{vi} - T_{ve}) A_v$$

Le flux de condensation est donné par

$$Q_{cond1} = \dot{m}_{cond1} \times L_v \times A_v$$

### C. Bilan au niveau de la saumure

$$m_p c_{pp} \frac{dT_p}{dt} = G \tau_v \tau_s \alpha_p A_s - h_{c-p-s} (T_p - T_s) A_p - h_{p-a} (T_p - T_{ab}) A_p$$

### D. Bilan au niveau de la plaque d'absorption



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = G \tau_v \tau_s \alpha_p A_s - h_{c p-s} (T_p - T_s) A_p - h_{ar} (T_p - T_{ab})$$

#### III. BILANS THERMIQUE DU CONDENSEUR

##### A. Bilan au niveau de la vitre externe

$$\frac{1}{2} m_v c_p \frac{dT_{ce}}{dt} = \left[ \frac{1}{2} G n \alpha_v + \left( \frac{\lambda_v}{\delta_v} \right) (T_{ei} - T_{ce}) - h_{r_{ce-sk}} (T_{ce} - T_{sk}) - h_w (T_{ce} - T_{ab}) \right] A_v$$

##### B. Bilan au niveau de la vitre interne

$$\frac{1}{2} m_v c_p \frac{dT_{ci}}{dt} = \left[ \frac{1}{2} G n \alpha_v + Q_{cond22} - \left( \frac{\lambda_v}{\delta_v} \right) (T_{ci} - T_{ce}) \right] A_v$$

#### IV. CALCULE DES COEFFICIENTS D'ÉCHANGES THERMIQUES

Le coefficient d'échange convectif entre la saumure et la face interne de la vitre est donnée par :

$$h_{c s-vi} = 0.884 \times \left[ (T_s - T_{vi}) + \frac{(P_s - P_{vi})}{2016 - P_s} T_s \right]^{1/2}$$

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air ambiant est donné par la relation Hottel et Woertz [2]:

$$h_w = 5.7 + 3.86 \times w$$

Le coefficient d'échange par rayonnement entre deux corps i et j peut s'écrire ainsi :

$$h_r = \varepsilon_{eff} \sigma \left[ \frac{T_i^4 - T_j^4}{T_i - T_j} \right]$$

Avec :

$$\frac{1}{\varepsilon_{eff}} = \frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1$$

La pression de saturation de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [5,20] :

$$P_{sat} = \exp \left( 25.317 - \frac{5144}{T} \right)$$

$$L_v = 3.1615 \times 10^6 - 2.40714 \times 10^6 T$$

Le coefficient d'échange convectif entre la plaque d'absorption et la saumure est évalué par la corrélation suivante [9] :

$$h_c = \frac{\lambda}{l} \times Nu$$

Où :

$$Nu = C Ra^n$$

Les facteurs C et n sont définis selon le régime laminaire ou turbulent ainsi :

$$C = 0.54 \text{ et } n = \frac{1}{4} \text{ si } 10^5 < Ra < 10^7$$

$$C = 0.14 \text{ et } n = \frac{1}{3} \text{ si } 2.10^7 < Ra < 3.10^{10}$$

Ra est le nombre adimensionnel de Rayleigh,  $\lambda$  et l sont respectivement le coefficient de conduction thermique et la longueur caractéristique.

La température du ciel est peut être estimée par plusieurs relations dont [2] :

$$T_s = T_a - 12$$

Le coefficient de perte thermique arrière de la plaque d'absorption, est évalué à l'aide de la relation suivante :

$$h_{ar} = \frac{1}{hw + \frac{\delta_{is}}{\lambda_{is}} + 2 \frac{\delta_p}{\lambda_p}}$$

#### V. RÉSULTATS

Afin de résoudre les systèmes d'équations différentielles précédentes, nous avons utilisé la méthode de RUNGE-KUTTA-FEHLBERG. Nous avons élaboré un programme sous MATLAB pour simuler l'évolution au fil du temps du comportement du système. L'étude a été effectuée sur le site d'ADRAR caractérisé par une longitude -0.28°, latitude 27.88° et une altitude de 264 m.

Le programme de simulation que nous avons réalisé sur MATLAB nous a permis de suivre la variation temporelle de la température des différents composants du distillateur pour le site d'Adrar.

En vue de simuler le fonctionnement de notre prototype, nous avons pris un jour représentatif de chaque saison, de façon qu'il soit à mi-saison, le 17 Janvier, 16 Mars, le 11 Juin et le 15 Septembre.

##### A. Variation de la puissance solaire

La figure N°15 illustre l'évolution journalière de l'énergie solaire reçue sur un plan horizontal (G), l'énergie solaire reçue sur un plan incliné de 30° orienté en plein nord (Gn). Nous observons une symétrie par rapport à midi solaire, où l'intensité est maximale. Pv, Ps, Pp et Pc sont respectivement la puissance absorbée par le vitrage du distillateur, la saumure, la plaque d'absorption et le vitrage du condenseur.

##### B. Températures des différentes composantes de distillateur

Les figures N° 16, 17, 18 et 19 représentent l'évolution des températures de chaque composante du distillateur ; Tve, Tvi : température du vitrage du distillateur du côté externe et interne respectivement.



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Ts et Tp : La température de la saumure et la température de la plaque d'absorption.

Tce, Tci : Température du vitrage du condenseur du coté externe et interne respectivement. Ces valeurs varient d'une saison à une autre, elles atteignent le maximum durant la période estivale et le minimum durant la période hivernale. On remarque que l'écart de température entre la plaque d'absorption et la saumure est compris entre 0 et 3°C.

#### C. Variation temporelle des coefficients d'échange

La chaleur latente de vaporisation de la saumure diminue au fur à mesure que sa température augmente. Elle atteint la valeur minimale à midi solaire, ensuite elle poursuit sa croissance jusqu'au coucher du soleil.

Les coefficients d'échange thermique suivent l'allure du rayonnement solaire, sauf les coefficients d'échange par conduction et par convection (celle due au vent) qui sont considérés constants.

#### D. Variation temporelle de la masse d'évaporation

La masse d'évaporation suit l'évolution du rayonnement solaire, il atteint le maximum 0.275 [ml s<sup>-1</sup>] à midi solaire et le minimum au lever et au coucher du soleil 0.025 [ml s<sup>-1</sup>] (Figure N°23).

La variation du débit d'évaporation en fonction de l'énergie reçue est caractérisée en deux évolutions différentes :

- du lever jusqu'à midi solaire la variation du débit a une croissance ascendante.
- De midi au coucher du soleil, elle a une décroissance linéaire.

Le retard de la production durant les premières heures de la journée est du au fait qu'une partie de l'énergie reçue de 0 à 200 [wm<sup>-2</sup>] est consommée pour chauffer le système. Ce qui peut être expliqué par l'inertie du système (Figure N°24).

#### E. Variation temporelle du débit de distillation

La courbe de débit de condensat a la même allure que le rayonnement solaire. La valeur maximale 0.275 ml/s est atteinte à 14 heures ensuite nous observons une décroissance jusqu'au coucher du soleil où elle atteint sa valeur minimale 0.05 [ml/s] (Figure N°25).

#### F. L'influence de l'épaisseur de la nappe d'eau.

##### 1) Influence sur l'écart de température

L'augmentation de l'épaisseur de la nappe diminue la température de la saumure ce qui s'explique par l'inertie de l'eau.

Les figures ci-dessous, nous montrent que l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'eau implique une diminution de

l'écart de température entre la saumure et la face interne du vitrage.

Dans le cas d'un centimètre d'épaisseur, la température de la saumure atteint le maximum à 10h, dans le cas de 4cm, le maximum n'est atteint qu'à midi solaire.

Entre la plaque d'absorption et la saumure, l'écart de température reste presque constant. Car l'épaisseur de la saumure a une influence sur les deux à la fois.

Une diminution et un déphasage pour atteindre le max, sur l'écart de température entre la vitre et l'ambient sont illustrés.

##### 2) L'influence de l'épaisseur de la nappe d'eau sur la production du distillat

Les figures N°30 et 31, nous montrent que l'augmentation de l'épaisseur de la nappe d'eau provoque la décroissance de la production d'eau distillée. Pour une épaisseur de 1 ou 2cm, nous avons eu presque 2.4l durant la journée du 11 Juin. Alors que pour une épaisseur de 10 cm, nous n'avons eu qu'un litre d'eau distillée durant toute la journée.

La figure N°29, illustre la variation de la masse d'évaporation pour différentes épaisseurs de la saumure : 2cm, 4cm et 8 cm avec les valeurs maximales respectives : 0.30 ,0.275 et 0.225 [mls<sup>-1</sup>].

Ainsi il est à conclure que l'épaisseur de la nappe d'eau a un effet considérable sur la production.

##### G. L'influence de la vitesse du vent

La vitesse du vent a une influence directe sur l'écart de température, entre les deux surfaces du vitrage (Figure N°30). Par contre, elle n'a pas une très grande influence sur le débit d'évaporation (Figure N°32).

La figure N°34, nous montre que la vitesse du vent n'a pas une très grande influence sur la production d'eau.

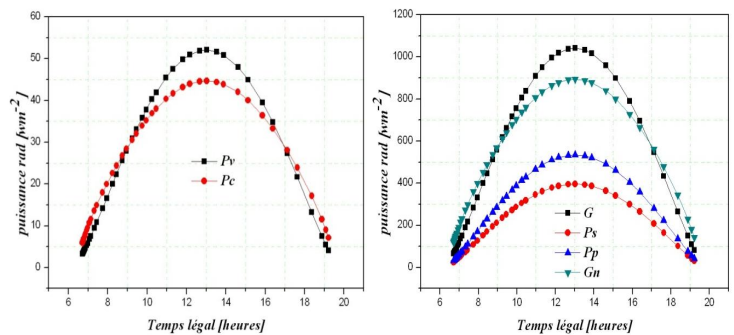
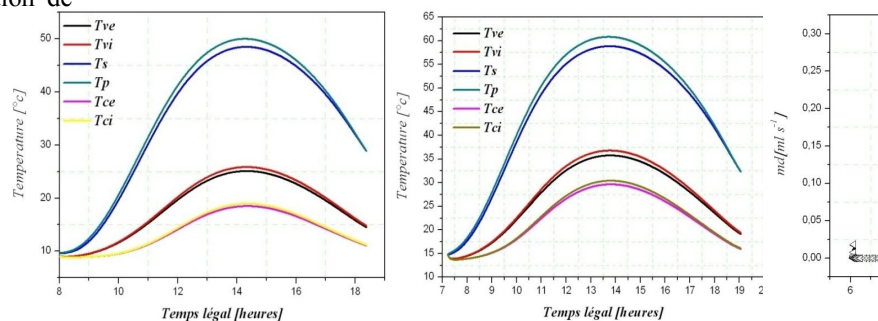


Figure N°15: Energies reçues par le distillateur et le condenseur pour la journée du 11 juin.







# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Figure N°16: Températures de différents composants du distillateur pour la journée du 17 Janvier.

Figure N°17: Températures de différents composants du distillateur pour la journée du 16

Figure N°25: Variation temporelle du débit de distillat pour la journée du 11 Juin.

Figure N°24: Variation de la masse d'évaporation en fonction du rayonnement solaire pour la journée du 11 Juin.

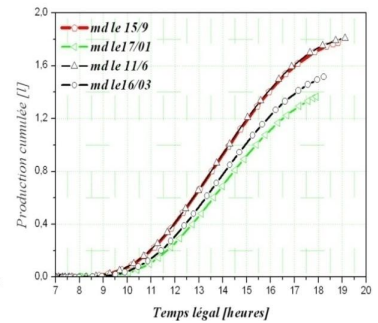
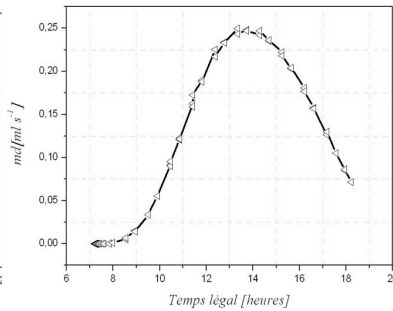
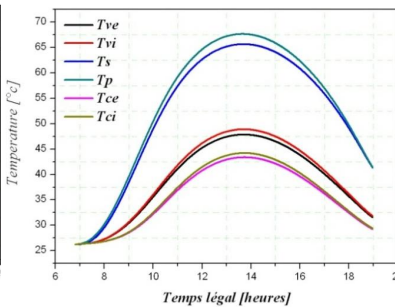
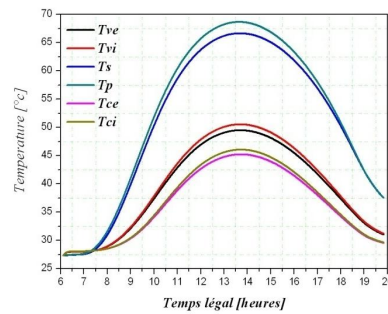


Figure N°18: Températures de différents composants du distillateur pour la journée du 11 Juin.

Figure N°19: Températures de différents composants du distillateur pour la journée du 15 Septembre.

Figure N°26: Variation temporelle du débit de distillat pour la journée du 16 Mars.

Figure N°27: Production cumulée.

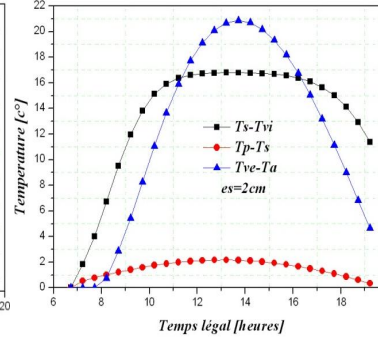
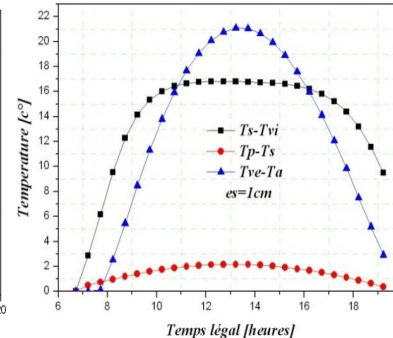
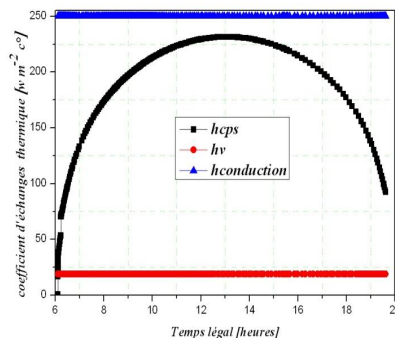
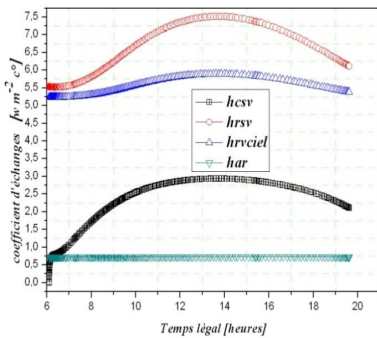


Figure N°21: Variation temporelle des coefficients d'échanges thermiques pour la journée du 11 Juin.

Figure N°22: Variation temporelle des coefficients d'échanges thermiques pour la journée du 11 Juin.

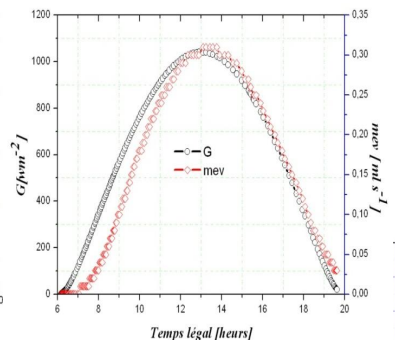
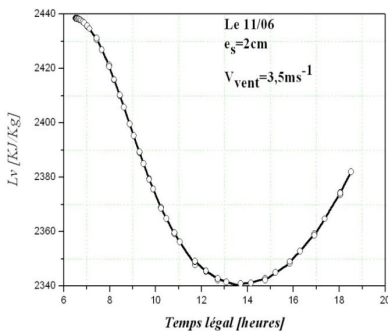
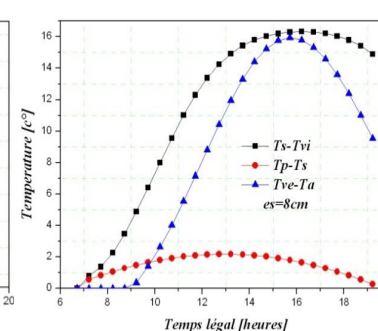
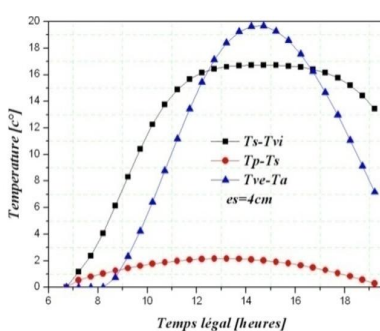
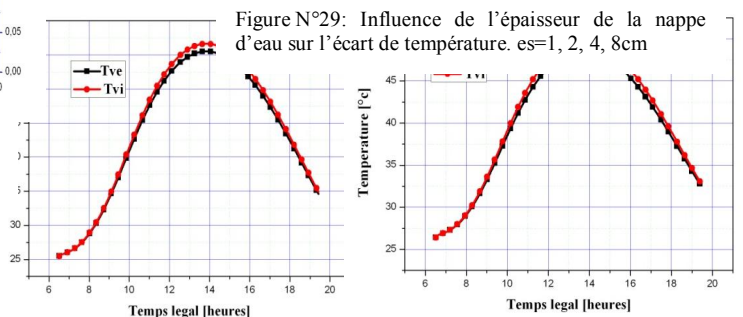


Figure N°29: Influence de l'épaisseur de la nappe d'eau sur l'écart de température. es=1, 2, 4, 8cm

Figure N°20: Variation temporelle de la chaleur latente de vaporisation pour la journée du 11 Juin.

Figure N°23: Energie solaire reçue et la masse d'évaporation pour la journée du 11 Juin.





# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Vvent=2[ms<sup>-1</sup>]

Vvent=4[ms<sup>-1</sup>]

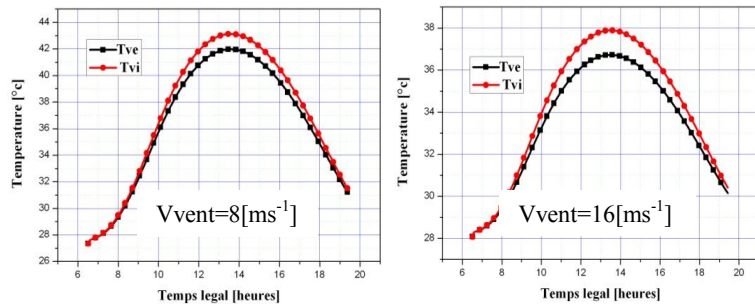


Figure N°32 : Influence de la vitesse du vent sur la température de la vitre.

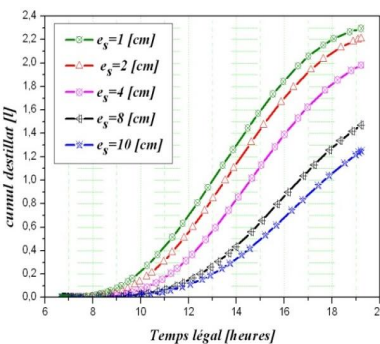


Figure N°30: Influence de l'épaisseur de la nappe d'eau sur le volume de distillat, es=1, 2, 4, 8, 10 cm

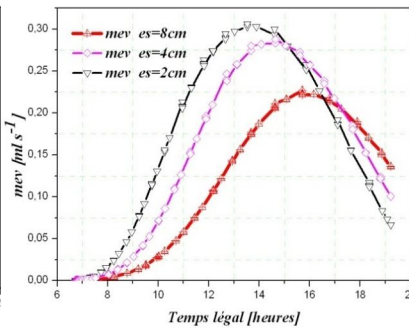


Figure N°31: Influence de l'épaisseur de la nappe d'eau sur le débit de distillat es=2, 4, 8 cm

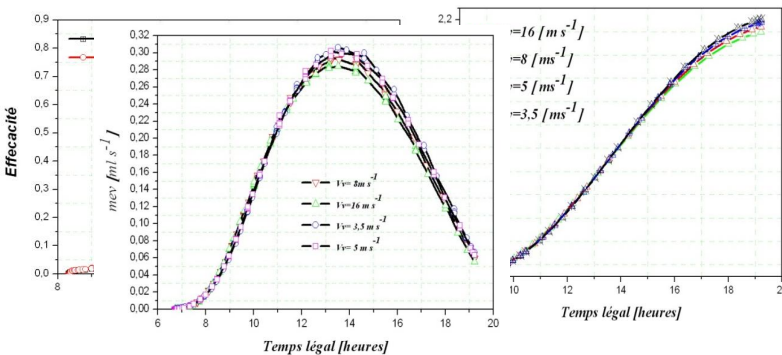


Figure N°28: efg : efficacité globale. efi : efficacité interne.

Figure N°33 : Influence de la vitesse du vent sur le débit de distillat.

Figure N°34 : Influence de la vitesse du vent sur la production d'eau distillée.

### REFERENCES

- [1] J.M. CHASSERIAUX, *Conversion thermique du rayonnement solaire*, Dunod, Paris, 1984.
- [2] Michel Daguene, *Les séchoirs solaires: théorie et pratique*, Unesco, 1985.
- [3] Michel CAPDEROU, *ATLAS SOLAIRE DE L'ALGERIE*, Office des Publications Universitaire, Alger, 1985.
- [4] John A. DUFFIE, WILLIAM A. BECKMAN, *SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES*, 2nd edition, WILEY INTERSCIENCE (1991).
- [5] *Aide-mémoire du thermicien*, Edition ELSEVIER 1997.
- [6] Bernard Eyglunet, *Manuel de thermique théorie et pratique*, 2ème édition, HERMES, 1997.
- [7] J. P. Holman, *HEAT TRANSFER*, 8th EDITION, INTERNATIONAL EDITION, 1997
- [8] Bachir Bouchekima, Bernard gros, Ramdane Ouahes, Mostefa Diboun, *Brackish water desalination with heat recovery*, Desalination 138 (2001) 147-155.
- [9] R. Tchinda, E. Kaptouom, *SIMULATION NUMERIQUE DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE FONCTIONNANT EN MODE INDIRECT*, African Journal of Science and Technology (AJDT), Vol 5, N° 1 (2004), pp 79-91
- [10] k. Fahem, S. Ben Jabrallah, A. Belghith, J.P. Corriou, *Numerical simulation of the behaviour of a distillation cell with influence of the characteristics of heating wall*, DESALINATION 210 (2006) 155-197.